

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of: Takashi KANO, et al.

Serial No.: 09/532,775

Filed: March 22, 2000

For: SEMICONDUCTOR LASER DEVICE



Group Art Unit: 2874

GAU 2874  
2/P Paper  
Leurs  
8/8/00

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Date: June 15, 2000

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

**JAPANESE APPLICATION NO. 11/079471, Filed March 24, 1999**

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicant has complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said documents. In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,

ARMSTRONG, WESTERMAN, HATTORI,  
MCLELAND & NAUGHTON

Donald W. Hanson  
Attorney for Applicants  
Reg. No. 27,133

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Donald W. Hanson".

Atty. Docket No. 000352  
1725 K Street, N.W., Suite 1000  
Washington, DC 20006  
Tel: (202) 659-2930  
Fax: (202) 887-0357  
DWH/l

RECEIVED  
JUN 19 2000  
TC 2800 MAIL ROOM



日本特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

1999年 3月24日

出願番号  
Application Number:

平成11年特許願第079471号

出願人  
Applicant(s):

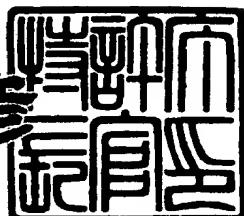
三洋電機株式会社

RECEIVED  
JUN 19 2000  
TC 2800 MAIL ROOM

2000年 3月17日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近藤 隆彦



出証番号 出証特2000-3016885

【書類名】 特許願  
【整理番号】 NBA0991027  
【提出日】 平成11年 3月24日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

【氏名】 狩野 隆司

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

【氏名】 大保 広樹

【特許出願人】

【識別番号】 000001889

【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100098305

【弁理士】

【氏名又は名称】 福島 祥人

【電話番号】 06-6330-5625

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 032920

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9403774

特平11-079471

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層を含みかつホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層上に、ストライプ状開口部を有する電流ブロック層が形成され、前記ストライプ状開口部内の前記第1の窒化物系半導体層上にホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層が形成され、前記電流ブロック層は、アルミニウムおよびホウ素の少なくとも一方を含む窒化物系半導体からなる第1の層と、インジウムを含む窒化物系半導体からなりかつ前記第1の層よりも小さなバンドギャップを有する第2の層との積層構造を含むことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記電流ブロック層の平均の屈折率は前記開口部内の前記第2の窒化物系半導体層の屈折率よりも小さいことを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記第1の層の厚みが前記第2の層の厚みよりも厚いことを特徴とする請求項2記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記電流ブロック層の平均のバンドギャップは前記活性層のバンドギャップとほぼ等しいか前記活性層のバンドギャップよりも小さいことを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記電流ブロック層は、2以上の前記第1の層と1以上の前記第2の層とが交互に積層されてなることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 前記第1の窒化物系半導体層は、第1導電型のクラッド層、前記活性層および第2導電型の第1のクラッド層をこの順に含み、前記第2の窒化物系半導体層は、第2導電型の第2のクラッド層を含むことを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、BN（窒化ホウ素）、GaN（窒化ガリウム）、AlN（窒化アルミニウム）もしくはInN（窒化インジウム）またはこれらの混晶等のIII-V族窒化物系半導体（以下、窒化物系半導体と呼ぶ）からなる半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、青色または紫色の光を発する半導体レーザ素子として、GaN系半導体発光素子の実用化が進んできている。光による情報の書き込み、あるいは読み出しを行う光メモリの中でも、光ディスクへの書き込みおよび光ディスクからの読み出しを行う光ディスクシステムの光源に半導体レーザ素子が多用されている。特にGaN系半導体レーザ素子は、次世代ディジタルビデオディスク等の高密度光ディスクシステム用光源として期待が高まっている。

【0003】

図12は従来のGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。図12において、サファイア基板51上に、アンドープのGaN低温バッファ層52、アンドープのGaN層53、n-GaN層54、n-クラック防止層55、n-AlGaNクラッド層56、n-GaN光ガイド層57、InGaN多重量子井戸(MQW)活性層58が順に設けられている。

【0004】

さらに、活性層58上には、p-AlGaNキャリアプロック層59、p-GaN光ガイド層60およびp-AlGaN第1クラッド層61が順に設けられている。p-AlGaN第1クラッド層61上には、ストライプ状開口部を有するn-GaN電流プロック層62が形成されている。ストライプ状開口部内のp-AlGaN第1クラッド層61上およびn-GaN電流プロック層62上には、p-AlGaN第2クラッド層64およびp-GaNコンタクト層65が順に設けられている。

【0005】

p-GaNコンタクト層65からn-GaN層54までの一部領域がエッテン

グにより除去され、n-GaN層54が露出している。p-GaNコンタクト層65の上面にp電極66が形成され、n-GaN層54の露出した上面にn電極67が形成されている。

## 【0006】

図12の半導体レーザ素子において、n電極67から供給される電子（負のキャリア）は、n-GaN層54、n-クラック防止層55、n-AlGaNクラッド層56、n-GaN光ガイド層57を介して活性層58に注入される。また、p電極66から供給される正孔（正のキャリア）は、p-GaNコンタクト層65、p-AlGaN第2クラッド層64、p-AlGaN第1クラッド層61、p-GaN光ガイド層60およびp-AlGaNキャリアブロック層59を介して活性層58に注入される。

## 【0007】

電流の流れをストライプ状に制限して、動作電流の低減と発光スポット位置の限定とを図るため、ストライプ状開口部63を有するn-GaN電流ブロック層62が設けられている。n-GaN電流ブロック層62は、活性層58へ流れ込む領域をほぼストライプ状開口部63下の領域に制限している。

## 【0008】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のような従来の半導体レーザ素子においては、n-GaN電流ブロック層62は、p-AlGaN第1クラッド層61およびp-AlGaN第2クラッド層64に比べて屈折率が大きいため、光閉じ込めの効果を有さない。

## 【0009】

半導体レーザ素子を実屈折導波型構造にして光閉じ込め効果を上げるためには、n-電流ブロック層を例えばn-AlGaNで形成し、p-AlGaN第1クラッド層61およびp-AlGaN第2クラッド層64よりもAl組成比を大きくすることにより、p-AlGaN第1クラッド層61およびp-AlGaN第2クラッド層64に比べて屈折率を小さくする必要がある。これにより、n-電流ブロック層の下部における活性層58の領域の実効屈折率がストライプ状開口

部63内のp-AlGaN第2クラッド層64の下部における活性層58の領域の実効屈折率よりも小さくなる。その結果、活性層58の中央部に光が閉じ込められる。しかしながら、その場合、p-AlGaN第1クラッド層61およびp-AlGaN第2クラッド層64もn-AlGaNで形成されているため、AlGaNの膜厚が、p-AlGaN第1クラッド層61とn-AlGaN電流プロック層とp-AlGaN第2クラッド層64を合わせたものとなる。このようなAl組成の大きな膜は、膜厚が厚くなり過ぎるとクラックが生じやすくなる。

## 【0010】

本発明の目的は、熱安定性に優れかつクラックの発生が防止された電流プロック層を有する半導体レーザ素子を提供することである。

## 【0011】

また、本発明の他の目的は、熱安定性に優れクラックの発生が防止されかつ光閉じ込め効果が向上された電流プロック層を備えた半導体レーザ素子を供給することである。

## 【0012】

## 【課題を解決するための手段および発明の効果】

第1の発明に係る半導体レーザ素子は、活性層を含みかつホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層上に、ストライプ状開口部を有する電流プロック層が形成され、ストライプ状開口部内の第1の窒化物系半導体層上にホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層が形成され、電流プロック層は、アルミニウムおよびホウ素の少なくとも一方を含む窒化物系半導体からなる第1の層と、インジウムを含む窒化物系半導体からなりかつ第1の層よりも小さなバンドギャップを有する第2の層との積層構造を含むものである。

## 【0013】

本発明に係る半導体レーザ素子においては、電流プロック層の第1の層がホウ素およびアルミニウムの少なくとも一方を含む。それにより、実屈折率導波型構造の場合、電流プロック層とストライプ状開口部内の第2の窒化物系半導体層との屈折率差を大きくすることができるとともに熱的に安定となる。また、損失導

波型構造の場合、熱的に安定となる。その一方で、電流ブロック層の第2の層がインジウムを含むので、ホウ素およびアルミニウムの少なくとも一方を含む第1の層の歪みを第2の層で吸収できクラックの発生が抑制される。

#### 【0014】

電流ブロック層の平均の屈折率は開口部内の第2の窒化物系半導体層の屈折率よりも小さくてもよい。

#### 【0015】

この場合には、ストライプ状開口部下の活性層の領域での実効的な屈折率が電流ブロック層下の活性層の領域での実効的な屈折率より大きくなり、光がストライプ状開口部下の領域に集中する。それにより、実屈折率導波型構造が実現される。

#### 【0016】

さらに、電流ブロック層の平均の屈折率が開口部内の第2の窒化物系半導体層の屈折率よりも小さい場合に、第1の層の厚みを第2の層の厚みよりも厚くすることが好ましい。それにより、電流ブロック層の平均の屈折率を小さく設定することが容易になる。

#### 【0017】

電流ブロック層の平均のバンドギャップは活性層のバンドギャップとほぼ等しいか活性層のバンドギャップよりも小さくてもよい。

#### 【0018】

この場合には、電流ブロック層下の活性層の領域で発生した光が電流ブロック層により吸収されるため、光がストライプ状開口部下の領域に集中する。それにより、損失導波型構造が実現される。

#### 【0019】

電流ブロック層は、2以上の第1の層と1以上の第2の層とが交互に積層されてなる構成であることが好ましい。

#### 【0020】

この場合には、第1の層の間に第2の層が挟まるので、第2の層がその両側で発生する第1の層の歪みを効果的に吸収することができる。

【0021】

第1の窒化物系半導体層は、第1導電型のクラッド層、活性層および第2導電型の第1のクラッド層を含み、第2の窒化物系半導体層は、第2導電型の第2のクラッド層をこの順に含んでもよい。

【0022】

電流ブロック層の平均の屈折率が第2導電型の第1のクラッド層および第2のクラッド層の屈折率より小さい場合には、ストライプ状開口部下の活性層の領域での実効的な屈折率が電流ブロック層下の活性層の領域での実効的な屈折率よりも大きくなり、実屈折率導波型構造の半導体レーザ素子が実現される。

【0023】

一方、電流ブロック層が活性層よりも小さなバンドギャップを有する場合には、電流ブロック層下の活性層の領域で発生した光を電流ブロック層により吸収する損失導波型構造の半導体レーザ素子が実現される。

【0024】

【発明の実施の形態】

(1) 第1の実施例

図1は本発明の第1の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。また、図2は図1の半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギー-band図である。

【0025】

図1に示すように、サファイア基板1上に、厚さ200ÅのアンドープのBA1GaNからなる低温バッファ層2、厚さ4.5μmのアンドープのBGaN層3、厚さ4.5μmのn-BGaN層4、および厚さ0.25μmのn-クラック防止層5が順に形成されている。n-クラック防止層5は、厚さ60ÅのBA1GaNおよび厚さ60ÅのGaNが21対交互に積層されてなる。

【0026】

n-クラック防止層5上には、厚さ0.8μmのBA1GaNからなるn-クラッド層6および厚さ0.1μmのBGaNからなるn-光ガイド層7が順に形成されている。n-光ガイド層7上には、BInGaNからなるn-多重量子井

戸活性層（以下、MQW活性層と呼ぶ）8が形成されている。n-MQW活性層8は、厚さ50Åの4つのBInGaN量子障壁層と厚さ20Åの3つのBInGaN量子井戸層とが交互に積層されてなる多重量子井戸構造を有する。

#### 【0027】

n-MQW活性層8上には、厚さ200ÅのBA1GaNからなるp-キャリアブロック層9、厚さ0.1μmのBGNからなるp-光ガイド層10、厚さ0.2μmのBA1GaNからなるp-第1クラッド層11が順に形成されている。p-第1クラッド層11の上には、ストライプ状開口部13を有する厚さ約0.5μmのn-電流ブロック層12が形成されている。ストライプ状開口部13内のp-第1クラッド層11上とn-電流ブロック層12上とに厚さ0.7μmのBA1GaNからなるp-第2クラッド層14が形成されている。p-第2クラッド層12の上に、厚さ0.05μmのBGNからなるp-コンタクト層15が形成されている。n-電流ブロック層12は、図2のエネルギー・バンド図に示すように、BA1GaNからなる厚さ0.1μmの5つのn-第1電流ブロック層12aと、BInGaNからなる厚さ0.02μmの4つのn-第2電流ブロック層12bとが交互に積層されてなる。

#### 【0028】

p-コンタクト層15からn-BGN層4までの一部領域がエッティングにより除去され、n-BGN層4が露出している。p-コンタクト層15上にp電極16が形成され、n-BGN層4の露出した上面にn電極17が形成されている。

#### 【0029】

図1の半導体レーザ素子は、例えばMOCVD（有機金属化学的気相成長）法により形成される。表1に図1の半導体レーザ素子の各層2～12, 14, 15の組成、膜厚および成長温度を示す。

#### 【0030】

【表1】

各層の名称	組成	膜厚	成長温度[°C]
低温バッファ層	$B_{0.1}Al_{0.4}Ga_{0.5}N$	200Å	600
i-BGaN層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	4.5μm	1080
n-BGaN層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	4.5μm	1080
クラック防止層	$B_{0.05}Al_{0.02}Ga_{0.93}N$ /GaN	0.25μm	1080
n-クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.8μm	1080
n-光ガイド層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	0.1μm	1080
量子障壁層	$B_{0.02}In_{0.05}Ga_{0.93}N$	50Å	800
量子井戸層	$B_{0.02}In_{0.15}Ga_{0.83}N$	20Å	800
p-キャリアプロック層	$B_{0.05}Al_{0.20}Ga_{0.75}N$	200Å	800
p-光ガイド層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	0.1μm	1080
p-第1クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.2μm	1080
n-第1電流プロック層	$B_{0.02}Al_{0.07}Ga_{0.91}N$	0.1μm	1080
n-第2電流プロック層	$B_{0.02}In_{0.08}Ga_{0.90}N$	0.02μm	800
p-第2クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.7μm	1080
p-コンタクト層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	0.05μm	1080

【0031】

n型ドーパントとしてはSiが用いられ、p型ドーパントとしてはMgが用いられる。表1に示すように、低温バッファ層2の成長温度は600°Cであり、BGaN層3、n-BGaN層4、n-クラック防止層5、n-クラッド層6、n-光ガイド層7、n-キャリアプロック層8、p-光ガイド層10、p-第1クラッド層11、n-第1電流プロック層12aおよびp-コンタクト層15の成

長温度は1080°Cである。また、n-MQW活性層8、p-キャリアブロック層9およびn-第2電流ブロック層12bの成長温度は800°Cである。

## 【0032】

低温バッファ層2の成長時には、原料ガスとしてTMG(トリメチルガリウム)、TMA(トリメチルアルミニウム)、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用いる。BGaN層3の成長時には、原料ガスとしてTMG、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用いる。n-BGaN層4およびn-光ガイド層7の成長時には、原料ガスとしてTMG、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。n-クラック防止層5、n-クラッド層6およびn-第1電流ブロック層12aの成長時には、原料ガスとしてTMG、TMA、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。

## 【0033】

n-MQW活性層8およびn-第2電流ブロック層12bの成長時には、原料ガスとしてTEG(トリエチルガリウム)、TMI(トリメチルインジウム)、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。p-キャリアブロック層9、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の成長時には、原料ガスとしてTMG、TMA、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用い、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用いる。p-光ガイド層10およびp-コンタクト層15の成長時には、原料ガスとしてTMG、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用い、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用いる。

## 【0034】

n-MQW活性層8の屈折率は、n-クラッド層6およびp-クラッド層12の屈折率よりも高く、n-光ガイド層7およびp-光ガイド層10の屈折率は、n-MQW活性層8の屈折率よりも低くかつn-クラッド層6、p-第1クラッド層11、p-第2クラッド層14の屈折率よりも高い。

## 【0035】

また、図2から分かるように、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14のバンドギャップよりも、n-第1電流ブロック層12aのバンドギャ

ップは大きい。ところが、n-第2電流ブロック層12bのバンドギャップは、n-第1電流ブロック層12aよりも小さく、さらにはp-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14のバンドギャップよりも小さいが、MQW活性層8の量子井戸層（伝導帯下端のエネルギー準位E1）のバンドギャップよりは大きい。そして、n-第1電流ブロック層12aとn-第2電流ブロック層12bの伝導帯下端の平均エネルギー準位E2にはp-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されている。

## 【0036】

本実施例の半導体レーザ素子においては、GaNにBおよびAlの少なくとも一方が添加されてなる層がn-第1電流ブロック層12aを含めてp-第1クラッド層11からp-第2クラッド層14まであり、その厚さがほぼ0.9μmと厚くなっている。しかし、n-BA1GaNからなるn-第1電流ブロック層12aよりもバンドギャップの小さいn-BInGaNからなるn-第2電流ブロック層12bがn-第1電流ブロック層12aの間に挟み込まれているので、n-第2電流ブロック層12bがその両側のn-第1電流ブロック層12aで発生する歪みを効果的に吸収するため、クラックが入りにくくなっている。特に、n-第2電流ブロック層12bがインジウムを含んでいるため、クラックを防止する効果が大きくなっている。

## 【0037】

5つのn-第1電流ブロック層12aと4つのn-第2電流ブロック層12bからなるn-電流ブロック層12の伝導帯下端の平均エネルギー準位E2がn-第1クラッド層11とp-第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されているため、n-電流ブロック層12の平均の屈折率がp-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の屈折率より小さくなっている。それにより、ストライプ状開口部13下のMQW活性層8の領域での実効的な屈折率がn-電流ブロック層12下のMQW活性層8の領域での実効的な屈折率よりも小さくなり、光がストライプ状開口部13下の領域に集中する効果を大きくできる。それにより、実屈折率導波型構造の半導体レーザ素子が実現される。

## 【0038】

また、伝導帯下端のエネルギー準位の低いn-第2電流ブロック層12bの4層分の膜厚の合計は0.08μmである。一方、伝導帯下端のエネルギー準位の高いn-第1電流ブロック層12aの膜厚は0.1μmであり、5層を合計すると0.5μmである。このようにn-第1電流ブロック層12aの膜厚をn-第2電流ブロック層12bの膜厚よりも厚くすることにより、n-電流ブロック層12の伝導帯下端の平均エネルギー準位E2をp-第1クラッド層11とp-第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く制御することが容易になる。

## 【0039】

## (2) 第2の実施例

図3は本発明の第2の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層とその近傍のエネルギーバンド図である。図3の半導体レーザ素子が図1の半導体レーザ素子と異なるのは、積層されている層の数がn-電流ブロック層12では9層であるのに対し、n-電流ブロック層12Aでは3層になっている点である。n-電流ブロック層12Aを除く図3の半導体レーザ素子の他の部分の構成および製造方法は、図1に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

## 【0040】

p-BAlGaNからなるp-第1クラッド層11上に形成されるn-電流ブロック層12Aは、図3のエネルギーバンド図に示すように、BAlGaNからなる厚さ0.25μmの2つのn-第1電流ブロック層12cと、BInGaNからなる厚さ0.05μmの1つのn-第2電流ブロック層12dとが交互に積層されてなる。

## 【0041】

図2のn-第1電流ブロック層12aと図3のn-第1電流ブロック層12cおよび、図2のn-第2電流ブロック層12bと図3のn-第2電流ブロック層12dとはそれぞれ膜厚が異なるだけで組成および成長条件は同じである。

## 【0042】

また、n-電流ブロック層12Aを除く図3の半導体レーザ素子の各層の組成

、膜厚および成長条件は、図1の半導体レーザ素子の各層2～11, 14, 15の組成、膜厚および成長条件と同様である。n-第1電流ブロック層12cの伝導帯下端のエネルギー準位とn-第1電流ブロック層12aの伝導帯下端のエネルギー準位とは同じであり、n-第2電流ブロック層12dの伝導帯下端のエネルギー準位とn-第2電流ブロック層12bの伝導帯下端のエネルギー準位は同じである。そして、n-電流ブロック層12Aの伝導帯下端の平均エネルギー準位E3はp-第1クラッド層11とp-第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されている。

#### 【0043】

以上のように構成された本実施例の半導体レーザ素子においては、第1の実施例の半導体レーザ素子と同様に、n-電流ブロック層12Aによる光閉じ込め効果を向上させることができ、同時にp-電流クラッド層11とn-電流ブロック層12Aとp-第2クラッド層14にクラックが入りにくくなる。そして、n-第1電流ブロック層12cがホウ素およびアルミニウムを含むことにより熱安定性が向上している。

#### 【0044】

##### (3) 第3の実施例

図4は本発明の第3の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層とその近傍のエネルギーバンド図である。図4の半導体レーザ素子が図1の半導体レーザ素子と異なるのは、n-電流ブロック層12Bがn-電流ブロック層12とは異なった組成になっている点である。図4の半導体レーザ素子の他の部分の構成および製造方法は、図1に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

#### 【0045】

p-BAlGaN第1クラッド層11上に形成されるn-電流ブロック層12Bは、図4のエネルギーバンド図に示すように、厚さ0.1μmの5つのn-BAlGaN第1電流ブロック層12eと厚さ0.01μmの4つのn-BInGaN第2電流ブロック層12fとが交互に積層されてなる。

#### 【0046】

表2に図4の半導体レーザ素子に関する一部の層の組成、膜厚および成長温度を示す。n-電流ブロック層12B以外の層の組成、膜厚および成長温度は、図1(表1)に示された半導体レーザ素子の各層2~11, 14, 15の組成、膜厚および成長温度と同様である。

【0047】

【表2】

各層の名称	組成	膜厚	成長温度 [°C]
量子障壁層	$B_{0.02}I_{n0.05}Ga_{0.93}N$	50Å	800
量子井戸層	$B_{0.02}I_{n0.15}Ga_{0.83}N$	20Å	800
p-第1クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.2μm	1080
n-第1電流ブロック層	$B_{0.02}Al_{0.07}Ga_{0.91}N$	0.1μm	1080
n-第2電流ブロック層	$B_{0.02}I_{n0.18}Ga_{0.80}N$	0.01μm	800
p-第2クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.7μm	1080

【0048】

図4から分かるように、n-第1電流ブロック層12eのバンドギャップは、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14のバンドギャップよりも大きい。一方、n-第2電流ブロック層12fのバンドギャップは、MQW活性層8の量子井戸層のバンドギャップより小さい。そして、n-第1電流ブロック層12eとn-第2電流ブロック層12fとの伝導帯下端の平均エネルギー準位E4は、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されている。

【0049】

本実施例の半導体レーザ素子においては、n-BAlGaNからなるn-第1電流ブロック層12eよりもバンドギャップの小さいn-BInGaNからなるn-第2電流ブロック層12fがn-第1電流ブロック層12eの間に挟み込まれているのでクラックを防止する効果が大きくなっている。特に、第1の実施例

と比べると、n-BInGaN第2電流ブロック層12fのインジウムの組成比がn-BInGaN第2電流ブロック層12bのインジウムの組成比よりも大きいので、クラックはさらに入りにくくなっている。

#### 【0050】

一方、n-電流ブロック層12Bの熱安定性は、n-第1電流ブロック層12eがアルミニウムおよびホウ素を含んでいるため向上している。また、n-第1電流ブロック層12eとn-第2電流ブロック層12fの伝導帯下端の平均エネルギー準位E4がp-第1クラッド層11とp-第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高くなっていることにより、n-電流ブロック層12Bの平均の屈折率がp-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14よりも小さくなっているn-電流ブロック層12Bのストライプ状開口部13下のMQW活性層8の領域に光が集中し、光閉じ込めの効果が向上している。ただし、第1の実施例と比べると、n-BInGaNからなるn-第2電流層12fのバンドギャップがn-BInGaNからなるn-第2電流ブロック層12bのバンドギャップよりも小さいので、第1の実施例の半導体レーザ素子の方がn-電流ブロック層の伝導帯下端の平均エネルギー準位の制御が容易である。

#### 【0051】

##### (4) 第4の実施例

図5は本発明の第4の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

#### 【0052】

図5の半導体レーザ素子が図4の半導体レーザ素子と異なるのは、積層されている層の数がn-電流ブロック層12Bでは9層であるのに対し、n-電流ブロック層12Cでは3層になっている点である。図5の半導体レーザ素子の他の部分の構成および製造方法は、図3の半導体レーザ素子の構成および製造方法、すなわち図1に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

#### 【0053】

p-BAlGaNからなるp-第1クラッド層11上に形成されるn-電流ブロック層12Cは、図5のエネルギーバンド図に示すように、BAlGaNから

なる厚さ0.25μmの2つのn-第1電流ブロック層12gと、BInGaNからなる厚さ0.05μmの1つのn-第2電流ブロック層12hとが交互に積層されてなる。図4のn-第1電流ブロック層12eと図5のn-第1電流ブロック層12gおよび、図4のn-第2電流ブロック層12fと図5のn-第2電流ブロック層12hとはそれぞれ膜厚が異なるだけで組成および成長条件は同じである。また、n-電流ブロック層12Cを除く図5の半導体レーザ素子の各層の組成、膜厚および成長条件は図4の半導体レーザ素子の各層、すなわち図1の半導体レーザ素子の各層2~11, 14, 15の組成、膜厚および成長条件と同じである。

#### 【0054】

BA1GaNからなるn-第1電流ブロック層12gのバンドギャップはBA1GaNからなるn-第1電流ブロック層12eと同等であり、BInGaNからなるn-第2電流ブロック層12hのバンドギャップはBInGaNからなるn-第2電流ブロック層12fと同等である。そして、n-電流ブロック層12Cの伝導帯下端の平均エネルギー準位E5はp-第1クラッド層11とp-第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されている。

#### 【0055】

以上のように構成された本実施例の半導体レーザ素子においては、第3の実施例の半導体素子と同様に、n-電流ブロック層12Cによる光閉じ込め効果および熱安定性を向上させることができ、同時にp-第1クラッド層11とn-電流ブロック層12Cとp-第2クラッド層14にクラックが入りにくくなる。

#### 【0056】

##### (5) 第5の実施例

図6は本発明の第5の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギー・バンド図である。

#### 【0057】

図6の半導体レーザ素子が図1の半導体レーザ素子と異なるのは、n-電流ブロック層12Dがn-電流ブロック層12とは異なった組成になっている点である。図6の半導体レーザ素子のn-電流ブロック層12D以外の部分の構成およ

び製造方法は、図1に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

## 【0058】

BAlGaNからなるp-第1クラッド層11上に形成されるn-電流ブロック層12Dは、図6のエネルギー・バンド図に示すように、厚さ0.1μmの5つのBAInGaNからなるn-第1電流ブロック層12iと厚さ0.01μmの4つのBInGaNからなるn-第2電流ブロック層12kとが交互に積層されてなる。

## 【0059】

表3に図6の半導体レーザ素子に関する一部の層の組成、膜厚および成長温度を示す。n-電流ブロック層12D以外の層の組成、膜厚および成長条件は、図1(表1)に示された半導体レーザ素子の各層2~11, 14, 15の組成、膜厚および成長条件と同様である。

## 【0060】

## 【表3】

各層の名称	組成	膜厚	成長温度[°C]
量子障壁層	B <sub>0.02</sub> I <sub>n0.05</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	50Å	800
量子井戸層	B <sub>0.02</sub> I <sub>n0.15</sub> Ga <sub>0.83</sub> N	20Å	800
p-第1クラッド層	B <sub>0.02</sub> A <sub>10.05</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.2μm	1080
n-第1電流ブロック層	B <sub>0.02</sub> A <sub>10.02</sub> I <sub>n0.08</sub> Ga <sub>0.88</sub> N	0.1μm	800
n-第2電流ブロック層	B <sub>0.02</sub> I <sub>n0.18</sub> Ga <sub>0.80</sub> N ~B <sub>0.02</sub> I <sub>n0.20</sub> Ga <sub>0.78</sub> N	0.01μm	800
p-第2クラッド層	B <sub>0.02</sub> A <sub>10.05</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.7μm	1080

## 【0061】

図6に示すように、BInGaNからなるn-第2電流ブロック層12kのバンドギャップは、MQW活性層8の量子井戸層のバンドギャップよりも小さい。

BAlInGaNからなるn-第1電流ブロック層12iのバンドギャップは、MQW活性層8の量子障壁層のバンドギャップとほぼ同じかそれよりも小さい。そのため、n-電流ブロック層12Dの伝導帯下端の平均エネルギー準位がMQW活性層8の伝導帯下端の平均エネルギー準位E6とほぼ同じかそれ以下に設定される。

#### 【0062】

本実施例の半導体レーザ素子においては、GaNにAlまたはBの少なくとも一方が添加されてなる層の厚さが0.9μmと厚くなっているが、BA1InGaNからなるn-第1電流ブロック層12iよりもバンドギャップの小さいBIInGaNからなるn-第2電流ブロック層12kがBA1InGaNからなるn-第1電流ブロック層12iの間に挟み込まれているので、n-電流ブロック層12Dの熱安定性を向上させつつクラックを防止することができる。

#### 【0063】

この場合、5つのn-第1電流ブロック層12iと4つのn-第2電流ブロック層12kからなるn-電流ブロック層12Dの伝導帯下端の平均エネルギー準位がMQW活性層8の伝導帯下端の平均エネルギー準位E6よりも低く設定されているため、n-電流ブロック層12D下の活性層8の領域で発生した光がn-電流ブロック層12Dにより吸収され、光がn-電流ブロック層12Dのストライプ状開口部13下の活性層8の領域に集中する。それにより、損失導波型構造の半導体レーザ素子が得られる。

#### 【0064】

また、n-第2電流ブロック層12kにMQW活性層8の量子井戸層よりもバンドギャップが小さいものを用いることによりn-電流ブロック層12Dの伝導帯下端の平均エネルギー準位を活性層8の伝導帯下端の平均エネルギー準位E6よりも小さく制御することが容易になる。

#### 【0065】

##### (6) 第6の実施例

図7は本発明の第6の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギー・バンド図である。図7の半導体レーザ素子が図

6の半導体レーザ素子と異なるのは、積層される層の数がn-電流ブロック層12Dでは9層であるのに対し、n-電流ブロック層12Eでは3層になっている点である。図7の半導体レーザ素子のn-電流ブロック層12E以外の部分の構成および製造方法は、図6の半導体レーザ素子の構成および製造方法、すなわち図1に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

#### 【0066】

p-BAlGaN第1電流ブロック層11上に形成されるn-電流ブロック層12Eは、図7に示すように、厚さ0.25μmの2つのBA1InGaNからなるn-第1電流ブロック層12mと、厚さ0.05μmの1つのBInGaNからなるn-第2電流ブロック層12nとが交互に積層されてなる。図7のn-第1電流ブロック層12mと図6のn-第1電流ブロック層12iおよび、図7のn-第2電流ブロック層12nと図6のn-第2電流ブロック層12kとはそれぞれ膜厚が異なるだけで組成および成長温度は同じである。また、n-電流ブロック層12Eを除く図7の半導体レーザ素子の各層の組成、膜厚および成長温度は図6の半導体レーザ素子の各層、すなわち図1の半導体レーザ素子の各層2~11, 14, 15の組成、膜厚および成長温度と同じである。

#### 【0067】

BA1InGaNからなるn-第1電流ブロック層12mのバンドギャップはBA1InGaNからなるn-第1電流ブロック層12iのバンドギャップと同等であり、BInGaNからなるn-第2電流ブロック層12nのバンドギャップはBInGaNからなるn-第2電流ブロック層12kのバンドギャップと同等である。そして、n-電流ブロック層12Eの伝導帯下端の平均エネルギー準位はMQW活性層8の伝導帯下端の平均エネルギー準位E7とほぼ同じかそれよりも低く設定されている。

#### 【0068】

以上のように構成された本実施例の半導体レーザ素子においては、第5の半導体レーザ素子と同様に、アルミニウムとホウ素のうちの少なくとも一方の組成比を大きくしてn-電流ブロック層12Eの熱安定性を向上させることができる。それと同時に、BInGaNからなるn-第2電流ブロック層12nが挟み込ま

れでいるため p-第1クラッド層11とn-電流ブロック層12Eとp-第2クラッド層14にクラックが入りにくくなっている。

## 【0069】

## (7) 第7の実施例

図8は本発明の第7の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

## 【0070】

図8に示すように、GaN基板等の導電性基板18上に、バッファ層2、n-BGaN層4、n-クラック防止層5、n-クラッド層6、n-光ガイド層7、n-MQW活性層8、p-キャリアブロック層9、p-光ガイド層10、p-第1クラッド層11が順に形成されている。p-第1クラッド層11の上に、ストライプ状開口部13を有するn-電流ブロック層12が形成されている。ストライプ状開口部13内のp-第1クラッド層11上およびn-電流ブロック層12上にp-第2クラッド層14が形成されている。p-第2クラッド層14上にp-コンタクト層15が形成されている。p-コンタクト層15上にp電極16が形成され、導電性基板18の裏面にn電極17が形成されている。図8の半導体レーザ素子では、図1の半導体レーザ素子のBGaN層3は設けられていない。また、図8の半導体レーザ素子においても図1の半導体レーザ素子と同様に、n-電流ブロック層12は、図2のエネルギーバンド図に示すように、BAlGaNからなる厚さ0.1μmの5つのn-第1電流ブロック層12aと、BInGaNからなる厚さ0.02μmの4つのn-第2電流ブロック層12bとが交互に積層されてなる。

## 【0071】

図8の半導体レーザ素子の各層2, 4~12, 14, 15の組成、膜厚および成長条件は、図1の半導体レーザ素子の各層2, 4~12, 14, 15の組成、膜厚および成長条件と同様である。

## 【0072】

本実施例の半導体レーザ素子においては、BAlGaNからなるn-第1電流ブロック層12aよりもバンドギャップの小さいBInGaNからなるn-第2

電流ブロック層12bがn-第1電流ブロック層12aの間に挟み込まれているので、n-第2電流ブロック層12bがその両側のn-第1電流ブロック層12aで発生する歪みを効果的に吸収するため、クラックが入りにくくなっている。特に、n-第2電流ブロック層12bがインジウムを含んでいるため、クラックを防止する効果が大きくなっている。

## 【0073】

n-電流ブロック層12の屈折率がp-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の屈折率より小さくなってしまい、ストライプ状開口部13下のMQW活性層8の領域での実効的な屈折率がn-電流ブロック層12下のMQW活性層8の領域での実効的な屈折率よりも小さくなり、光がストライプ状開口部13下の領域に集中する効果を大きくできる。

## 【0074】

また、n-第1電流ブロック層12aの膜厚をn-第2電流ブロック層12bの膜厚よりも厚くすることにより、n-電流ブロック層12の伝導帯下端の平均エネルギー準位E2をp-第1クラッド層11とp-第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く制御することが容易になる。

## 【0075】

## (8) 第8の実施例

次に、本発明の第8の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子について説明する。

## 【0076】

本実施例の半導体レーザ素子の構成は、各層の材料を除いて図1の半導体レーザ素子の構成と同様である。表4に本実施例の半導体レーザ素子の各層の組成、膜厚および成長温度を示す。

## 【0077】

【表4】

各層の名称	組成	膜厚	成長温度[°C]
低温バッファ層	$Al_{0.5}Ga_{0.5}N$	200 Å	600
i-GaN層	GaN	$4.5\ \mu m$	1080
n-GaN層	GaN	$4.5\ \mu m$	1080
クラック防止層	$Al_{0.07}Ga_{0.93}N$ /GaN	$0.25\ \mu m$	1080
n-クラッド層	$Al_{0.07}Ga_{0.93}N$	$0.8\ \mu m$	1080
n-光ガイド層	GaN	$0.1\ \mu m$	1080
量子障壁層	$In_{0.02}Ga_{0.98}N$	50 Å	800
量子井戸層	$In_{0.10}Ga_{0.90}N$	20 Å	800
p-キャリアプロック層	$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$	200 Å	800
p-光ガイド層	GaN	$0.1\ \mu m$	1080
p-第1クラッド層	$Al_{0.07}Ga_{0.93}N$	$0.2\ \mu m$	1080
n-第1電流プロック層	$Al_{0.09}Ga_{0.91}N$	$0.1\ \mu m$	1080
n-第2電流プロック層	$In_{0.05}Ga_{0.95}N$	$0.02\ \mu m$	800
p-第2クラッド層	$Al_{0.07}Ga_{0.93}N$	$0.7\ \mu m$	1080
p-コンタクト層	GaN	$0.05\ \mu m$	1080

【0078】

表4に示すように、低温バッファ層2はAlGaNからなり、BGaN層3の代わりにアンドープのGaN層が設けられ、n-BGaN層4の代わりにn-GaN層が設けられている。クラック防止層5は厚さ60 ÅのAlGaNと厚さ60 ÅのGaNとが21対交互に積層されてなり、n-クラッド層6はAlGaNからなり、n-光ガイド層7はGaNからなる。

## 【0079】

また、n-MQW活性層8は、厚さ50Åの4つのInGaN量子障壁層と厚さ20Åの3つのInGaN量子井戸層とが交互に積層されてなる。さらに、p-キャリアブロック層9はAlGaNからなり、p-光ガイド層10はGaNからなり、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14はAlGaNからなり、p-コンタクト層13はGaNからなる。また、n-電流ブロック層12は、図2のエネルギーバンド図に示すように、厚さ0.1μmの5つのn-第1電流ブロック層12aと、厚さ0.02μmの4つのn-第2電流ブロック層12bとが交互に積層されてなり、n-第1電流ブロック層12aはAlGaNからなり、n-第2電流ブロック層12bはInGaNからなる。

## 【0080】

低温バッファ層2の成長時には、原料ガスとしてTMG、TMAおよびNH<sub>3</sub>を用いる。GaN層の成長時には、原料ガスとしてTMGおよびNH<sub>3</sub>を用いる。n-GaN層およびn-光ガイド層7の成長時には、原料ガスとしてTMGおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。n-クラック防止層5、n-クラッド層6およびn-第1電流ブロック層12aの成長時には、原料ガスとしてTMG、TMAおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。

## 【0081】

n-MQW活性層8およびn-第2電流ブロック層12bの成長時には、原料ガスとしてTEG、TMIおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。p-キャリアブロック層10、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の成長時には、原料ガスとしてTMG、TMAおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用いる。p-光ガイド層11およびp-コンタクト層13の成長時には、原料ガスとしてTMGおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用いる。

## 【0082】

本実施例の半導体レーザ素子においても、図1の半導体レーザ素子と同様の効果が得られる。

## 【0083】

## (9) 第9の実施例

次に、本発明の第9の実施例におけるGaN系の半導体レーザ素子について説明する。

## 【0084】

本実施例の半導体レーザ素子の構成は、n-電流プロック層の材料を膜厚を除いて第6の実施例の半導体レーザ素子の構成と同様である。表5に本実施例の半導体レーザ素子の組成、膜厚および成長温度を示す。

## 【0085】

## 【表5】

各層の名称	組成	膜厚	成長温度 [°C]
量子障壁層	In <sub>0.02</sub> Ga <sub>0.98</sub> N	50Å	800
量子井戸層	In <sub>0.10</sub> Ga <sub>0.90</sub> N	20Å	800
p-第1クラッド層	Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.2μm	1080
n-第1電流プロック層	Al <sub>0.09</sub> Ga <sub>0.91</sub> N	0.1μm	1080
n-第2電流プロック層	In <sub>0.13</sub> Ga <sub>0.87</sub> N	0.01μm	800
p-第2クラッド層	Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.7μm	1080

## 【0086】

表5に示す量子障壁層、量子井戸層、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の組成、膜厚および成長温度は表4に示す半導体レーザ素子と同様である。

## 【0087】

図4のエネルギーバンド図に示すように、本実施例の半導体レーザ素子のn-電流プロック層12Bは、厚さ0.1μmの5つのAlGaNからなるn-第1電流プロック層12eと、厚さ0.01μmの4つのBInGaNからなるn-第2電流プロック層12fとを交互に積層してなる。

## 【0088】

本実施例の半導体レーザ素子においても、図4の半導体レーザ素子と同様の効果が得られる。

## 【0089】

## (10) 第10の実施例

次に、本発明の第10の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子について説明する。

## 【0090】

本実施例の半導体レーザ素子の構成は、n-電流ブロック層の材料と膜厚を除いて第8の実施例の半導体レーザ素子の構成と同様である。表6に本実施例の半導体レーザ素子の組成、膜厚および成長温度を示す。

## 【0091】

## 【表6】

各層の名称	組成	膜厚	成長温度 [°C]
量子障壁層	$I_{n0.02}G_{a0.98}N$	50Å	800
量子井戸層	$I_{n0.10}G_{a0.90}N$	20Å	800
p-第1クラッド層	$A_{I0.07}G_{a0.93}N$	0.2μm	1080
n-第1電流ブロック層	$A_{I0.04}I_{n0.08}G_{a0.88}N$	0.1μm	800
n-第2電流ブロック層	$I_{n0.15}G_{a0.85}N$	0.01μm	800
p-第2クラッド層	$A_{I0.07}G_{a0.93}N$	0.7μm	1080

## 【0092】

表6に示す量子障壁層、量子井戸層、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の組成、膜厚および成長温度は表4に示す半導体レーザ素子と同様である。

## 【0093】

図6のエネルギー・バンド図に示すように、本実施例の半導体レーザ素子のn-

電流ブロック層12Dは、AlInGaNからなる厚さ0.1μmの5つのn-第1電流ブロック層12iと、InGaNからなる厚さ0.01μmの4つのn-第2電流ブロック層12kとを交互に積層してなる。

## 【0094】

本実施例の半導体レーザ素子においても、図6の半導体レーザ素子と同様の効果が得られる。

## 【0095】

## (11) 第11の実施例

図9は、本発明の第11の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。図10は図9の半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギー-band図である。図9に示す半導体レーザ素子は、p-クラッド層41にストライプ状リッジ部41aを有するタイプである。

## 【0096】

本実施例の半導体レーザ素子のサファイア基板1からp-光ガイド層10までの各層については、図1の半導体レーザ素子の構成と同様である。また、本実施例の半導体レーザ素子のn-電流ブロック層42については、ストライプ状開口部45の長手方向と垂直な方向における開口部の断面形状を除き図1のn-電流ブロック層12と同様である。表7に本実施例の半導体レーザ素子のp-光ガイド層10よりも上に形成されている各層の組成、膜厚および成長温度を示す。

## 【0097】

【表7】

各層の名称	組成	膜厚	成長温度[°C]
p-クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	$0.2\mu m$	1080
n-第1電流ブロック層	$B_{0.02}Al_{0.07}Ga_{0.91}N$	$0.1\mu m$	1080
n-第2電流ブロック層	$B_{0.02}In_{0.08}Ga_{0.90}N$	$0.02\mu m$	800
p-キャップ層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	$0.1\mu m$	1080
p-コンタクト層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	$0.05\mu m$	1080

【0098】

表7に示すように、リッジ部41aを有する $BA1GaN$ からなるp-クラッド層41が $BGaN$ からなるp-光ガイド層10上に設けられている。リッジ部41aの領域を除きp-クラッド層41の厚さは $0.2\mu m$ である。p-クラッド層41のリッジ部41a上には $BGaN$ からなるp-キャップ層43が設けられ、リッジ部41a両側のp-クラッド層41上にn-電流ブロック層42が設けられている。n-電流ブロック層42上とp-キャップ層43上に、 $BGaN$ からなるp-コンタクト層44が設けられている。p-クラッド層41においては、リッジ部41aがp-第2クラッド層に相当し、リッジ部41a以外の部分がp-第1クラッド層に相当する。

【0099】

図1の半導体レーザ素子と同様に、n-電流ブロック層42は、 $BA1GaN$ からなる厚さ $0.1\mu m$ の5つのn-第1電流ブロック層42aと、 $BiInGa$  $N$ からなる厚さ $0.02\mu m$ の4つのn-第2電流ブロック層42bとを図10に示すように交互に積層してなる。

【0100】

p- $BA1GaN$ クラッド層41の成長時には、原料ガスとしてTMG、TM $A$ 、 $NH_3$ および $B_2H_4$ を用い、ドーパントガスとして $CP_2$ 、Mgを用いる。p- $BGaN$ キャップ層43およびp- $BGaN$ コンタクト層44の成長時に

は、原料ガスとしてTMG、NH<sub>3</sub> およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub> を用い、ドーパントガスとしてCP<sub>2</sub>、Mgを用いる。n-第1電流ブロック層42aの成長時には、原料ガスとしてTMG、TMA、NH<sub>3</sub> およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub> を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub> を用いる。また、n-第2電流ブロック層42bの成長時には、原料ガスとしてTEG、TMI、NH<sub>3</sub> およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub> を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub> を用いる。

#### 【0101】

本実施例の半導体レーザ素子においても、図1の半導体レーザ素子と同様の効果が得られる。

#### 【0102】

なお、上記第11の実施例では、5つのn-第1電流ブロック層42aと4つのn-第2電流ブロック層42bとを交互に積層する場合について説明したが、積層するn-第1電流ブロック層とn-第2電流ブロック層の数は上記の例に限られない。2以上のn-第1電流ブロック層と1以上の第2電流ブロック層とが交互に積層されればよい。そうすればn-第1電流ブロック層の間にn-第2電流ブロック層が挟み込まれる形になり、n-第2電流ブロック層がその両側で発生するn-第1電流ブロック層の歪みを効果的に吸収できる。

#### 【0103】

また、上記第11の実施例のBInGaNからなるn-第2電流ブロック層42bのバンドギャップはMQW活性層8の量子井戸層のバンドギャップよりも大きくなっているが、インジウムの組成比を大きくし、例えばその組成をB<sub>0.02</sub>I<sub>n</sub><sub>0.15</sub>Ga<sub>0.83</sub>Nとしてn-第2電流ブロック層のバンドギャップを量子井戸層のバンドギャップよりも小さくしてもよい。

#### 【0104】

また、上記第11の実施例ではn-電流ブロック層42の平均の屈折率がBA1GaNからなるp-クラッド層41の屈折率よりも小さく設定され、実屈折導波型構造となっているが、n-電流ブロック層の平均のバンドギャップをMQW活性層8のバンドギャップよりも小さくしてもよく、その場合には、図6の半導体レーザ素子と同様に損失導波型構造の半導体レーザ素子が得られる。

## 【0105】

## (12) 第12の実施例

次に、本発明の第12の実施例における半導体レーザ素子について説明する。

## 【0106】

本実施例の半導体レーザ素子の模式的断面構造は、図9に示す第11の実施例の半導体レーザ素子と同様である。ただし、本実施例の半導体レーザ素子の各層の材料が第11の実施例の材料と異なっている。本実施例の半導体レーザ素子のサファイア基板1からp-光ガイド層10までの各層については、表4に示されている第8の実施例の各層と同じである。そして、表8に本実施例の半導体レーザ素子のp-光ガイド層10よりも上に形成されている各層の組成、膜厚および成長温度を示す。

## 【0107】

## 【表8】

各層の名称	組成	膜厚	成長温度[°C]
p-クラッド層	Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.2 μm	1080
n-第1電流プロック層	Al <sub>0.09</sub> Ga <sub>0.91</sub> N	0.1 μm	1080
n-第2電流プロック層	In <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.95</sub> N	0.02 μm	800
p-キャップ層	GaN	0.1 μm	1080
p-コンタクト層	GaN	0.05 μm	1080

## 【0108】

p-GaN光ガイド層10上に形成されたp-クラッド層41は、AlGaNからなり、リッジ部41aの領域を除き0.2 μmの膜厚を有する。p-キャップ層43は、GaNからなり、0.1 μmの膜厚を有する。また、n-電流プロック層42は、図10に示すように、AlGaNからなる厚さ0.1 μmの5つのn-第1電流プロック層と、InGaNからなる厚さ0.02 μmの4つのn-第2電流プロック層とが交互に積層されてなる。n-電流プロック層42上と

p-キャップ層43上には、GaNからなる厚さ0.05μmのコンタクト層44が形成されている。

## 【0109】

p-クラッド層41の成長時には、原料ガスとしてTMG、TMA、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用い、ドーパントガスとしてCP<sub>2</sub>Mgを用いる。p-キャップ層43およびp-コンタクト層44の成長時には、原料ガスとしてTMG、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用い、ドーパントガスとしてCP<sub>2</sub>Mgを用いる。n-第1電流ブロック層の成長時には、TMG、TMAおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。n-第2電流ブロック層の成長時には、原料ガスとしてTEG、TMIおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。

## 【0110】

本実施例の半導体レーザ素子においても、第8の実施例の半導体レーザ素子と同様の効果が得られる。

## 【0111】

なお、上記第12の実施例では、5つのn-第1電流ブロック層42aと4つのn-第2電流ブロック層42bとを交互に積層する場合について説明したが、積層するn-第1電流ブロック層とn-第2電流ブロック層の数は上記の例に限られない。2以上のn-第1電流ブロック層と1以上の第2電流ブロック層とが交互に積層されればよい。そうすれば、n-第1電流ブロック層の間にn-第2電流ブロック層が挟み込まれる形になり、n-第2電流ブロック層がその両側で発生するn-第1電流ブロック層の歪みを効果的に吸収できる。

## 【0112】

また、上記第12の実施例のInGaNからなるn-第2電流ブロック層のバンドギャップはMQW活性層8の量子井戸層のバンドギャップよりも大きくなっているが、インジウムの組成比を大きくし、例えばその組成をIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nとしてn-第2電流ブロック層のバンドギャップを量子井戸層のバンドギャップよりも小さくしてもよい。

## 【0113】

また、上記第12の実施例ではn-電流ブロック層42の平均の屈折率がp-A1GaNクラッド層41の屈折率よりも小さく設定され、実屈折導波型構造となっているが、n-電流ブロック層の平均のバンドギャップをMQW活性層8のバンドギャップよりも小さくしてもよく、その場合には、第10の実施例の半導体レーザ素子と同様に損失導波型構造の半導体レーザ素子が得られる。

## 【0114】

## (13) 第13の実施例

図11は本発明の第13の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

## 【0115】

図11に示すように、GaN基板等の導電性基板18上に、バッファ層2、n-BGaN層4、n-クラック防止層5、n-クラッド層6、n-光ガイド層7、n-MQW活性層8、p-キャリアブロック層9、p-光ガイド層10、p-クラッド層41が順に形成されている。p-クラッド層41にはストライプ状リッジ部41aが形成されている。ストライプ状リッジ部41aの両側のp-クラッド層41上にはn-電流ブロック層42が形成されている。ストライプ状リッジ部41aの上にはp-キャップ層43が形成されている。n-電流ブロック層42上およびp-キャップ層43上にp-コンタクト層44が形成されている。p-コンタクト層44上にp電極16が形成され、導電性基板18の裏面にn電極17が形成されている。図11の半導体レーザ素子では、図9の半導体レーザ素子のBGaN層3は設けられていない。

## 【0116】

図11の半導体レーザ素子の各層2、4~10、41~44の組成、膜厚および成長条件は、図9の半導体レーザ素子の各層2、4~10、41~44の組成、膜厚および成長条件と同様である。また、図11の半導体レーザ素子においても図9の半導体レーザ素子と同様に、n-電流ブロック層42は、図10のエネルギー・バンド図に示すように、厚さ0.1μmの5つのn-第1電流ブロック層42aと、厚さ0.02μmの4つのn-第2電流ブロック層42bとが交互に積層されてなる。この第1電流ブロック層42aはAlGaNからなり、n-第

2電流ブロック層42bはInGaNからなる。

【0117】

本実施例の半導体レーザ素子においては、AlGaNからなるn-第1電流ブロック層42aよりもバンドギャップの小さい、InGaNからなるn-第2電流ブロック層42bがn-第1電流ブロック層42aの間に挟み込まれているので、n-第2電流ブロック層42bがその両側のn-第1電流ブロック層42aで発生する歪みを効果的に吸収するため、クラックが入りにくくなっている。特に、n-第2電流ブロック層42bがインジウムを含んでいるため、クラックを防止する効果が大きくなっている。

【0118】

n-電流ブロック層42の屈折率がp-クラッド層41の屈折率より小さくなっている、ストライプ状開口部42下のMQW活性層8の領域での実効的な屈折率がn-電流ブロック層42下のMQW活性層8の領域での実効的な屈折率よりも小さくなり、光がストライプ状開口部45下の領域に集中する効果を大きくできる。それにより、実屈折率導波型構造の半導体レーザ素子が実現される。

【0119】

また、n-第1電流ブロック層42aの膜厚をn-第2電流ブロック層42bの膜厚よりも厚くすることにより、n-電流ブロック層42の伝導帯下端の平均エネルギー準位E8をp-クラッド層41の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く制御することが容易になる。

【0120】

なお、上記第13の実施例では、5つのn-第1電流ブロック層42aと4つのn-第2電流ブロック層42bとを交互に積層する場合について説明したが、積層するn-第1電流ブロック層とn-第2電流ブロック層の数は上記の例に限られない。2以上のn-第1電流ブロック層と1以上の第2電流ブロック層とが交互に積層されればよい。そうすればn-第1電流ブロック層の間にn-第2電流ブロック層が挟み込まれる形になり、n-第2電流ブロック層がその両側で発生するn-第1電流ブロック層の歪みを効果的に吸収できる。

【0121】

また、上記第13の実施例のn-第2電流ブロック層42bのバンドギャップはMQW活性層8の量子井戸層のバンドギャップよりも大きくなっているが、インジウムの組成比を大きくし、例えばその組成を $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ としてn-第2電流ブロック層のバンドギャップを量子井戸層のバンドギャップよりも小さくしてもよい。

#### 【0122】

また、上記第13の実施例ではn-電流ブロック層42の平均の屈折率がAl<sub>x</sub>GaNからなるp-クラッド層41の屈折率よりも小さく設定され、実屈折導波型構造となっているが、n-電流ブロック層の平均のバンドギャップをMQW活性層8のバンドギャップよりも小さくしてもよく、その場合には、第10の実施例の半導体レーザ素子と同様に損失導波型構造の半導体レーザ素子が得られる。

#### 【0123】

なお、第1の層であるn-第1電流ブロック層12a, 12c, 12e, 12g, 12i, 42aおよび第2の層であるn-第2電流ブロック層12b, 12d, 12f, 12h, 12k, 42bの組成および膜厚は上記実施例に限定されない。第1の層はアルミニウムおよびホウ素の少なくとも一方を含む窒化物系半導体からなり、第2の層はインジウムを含む窒化物系半導体からなり、第1の層よりも第2の層のバンドギャップが小さければよい。

#### 【0124】

また、p-第1クラッド層11, 41とp-第2クラッド層14, 41aの組成は異なっていてもよい。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の第1の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

##### 【図2】

図1の半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

##### 【図3】

本発明の第2の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図4】

本発明の第3の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図5】

本発明の第4の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図6】

本発明の第5の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図7】

本発明の第6の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図8】

本発明の第6の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図9】

本発明の第11の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図10】

図9の半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図11】

本発明の第13の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図12】

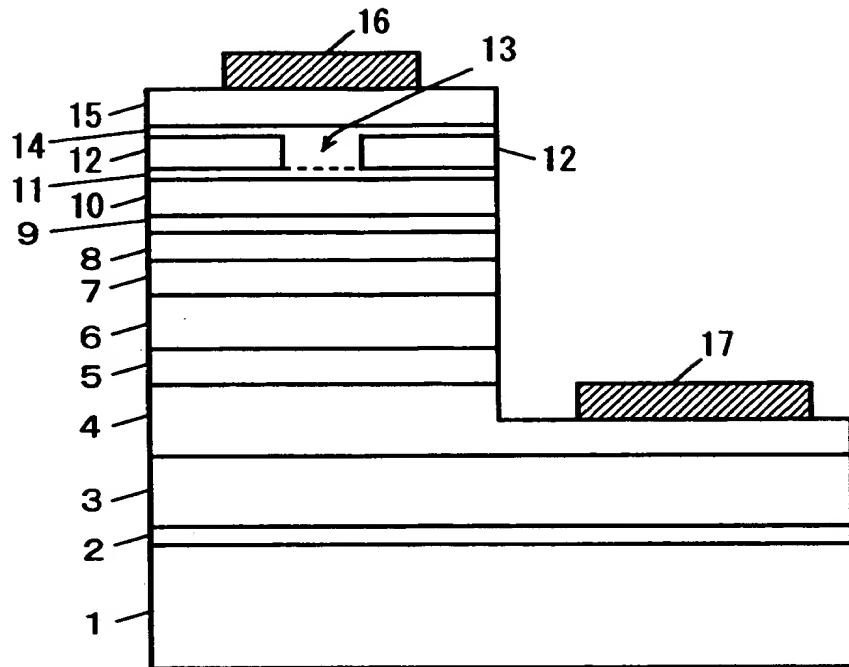
従来のGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【符号の説明】

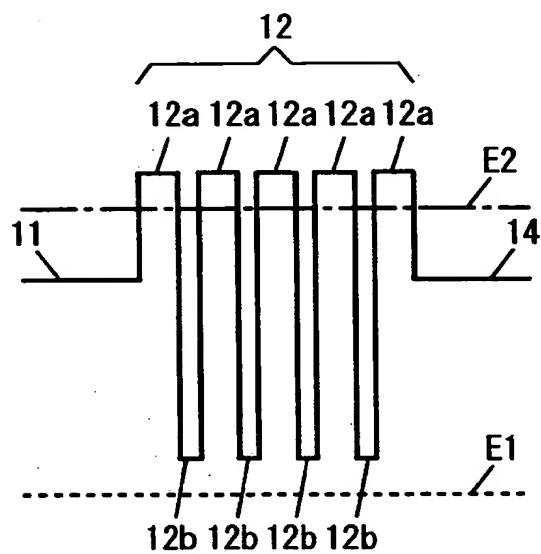
- 1 サファイア基板
- 6 n-クラッド層
- 7 n-光ガイド層
- 8 n-MQW活性層
- 9 p-キャリアブロック層
- 10 p-光ガイド層
- 11 p-第1クラッド層
- 12, 12A~12E, 42 n-電流ブロック層
- 12a, 12c, 12e, 12g, 12i, 42a n-第1電流ブロック層
- 12b, 12d, 12f, 12h, 12k, 42b n-第2電流ブロック層
- 13, 45 ストライプ状開口部
- 14 p-第2クラッド層
- 15, 44 p-コンタクト層
- 16 p電極
- 17 n電極
- 18 導電性基板
- 41 p-クラッド層
- 43 p-キャップ層

【書類名】 図面

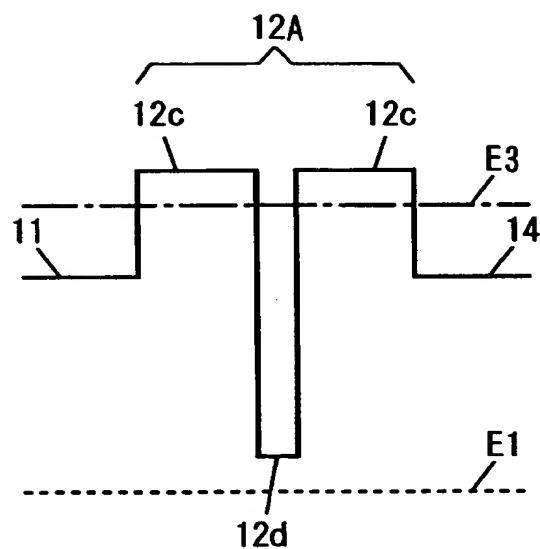
【図1】



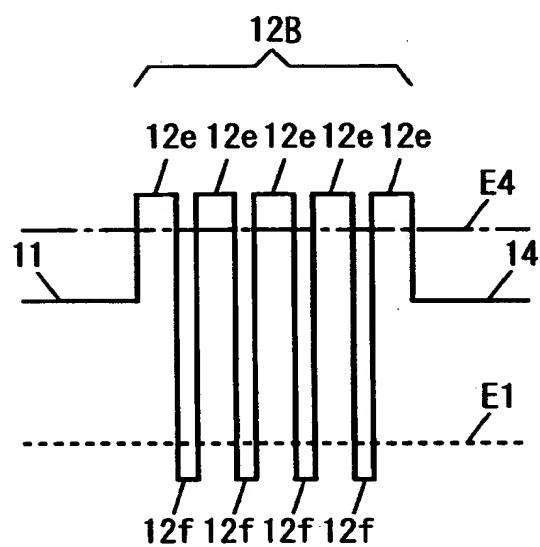
【図2】



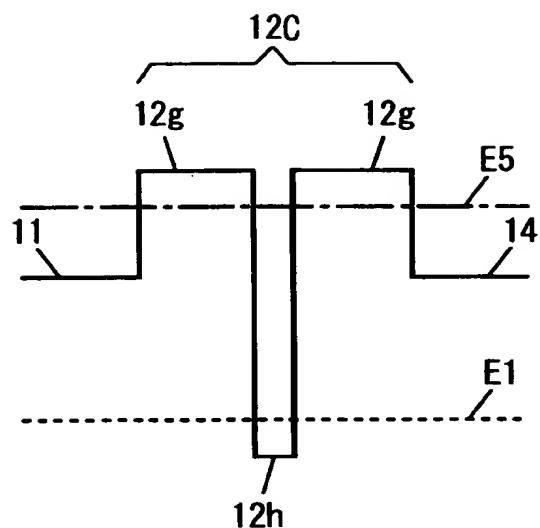
【図3】



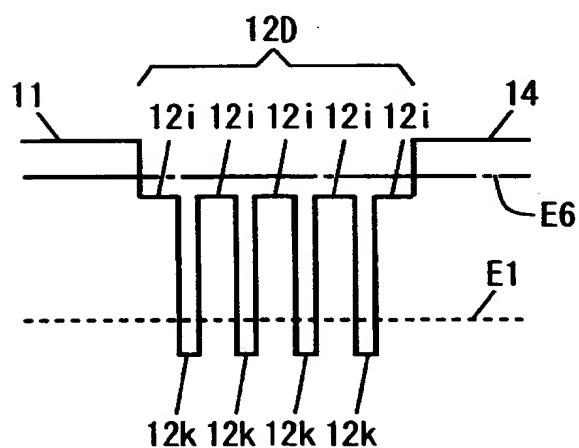
【図4】



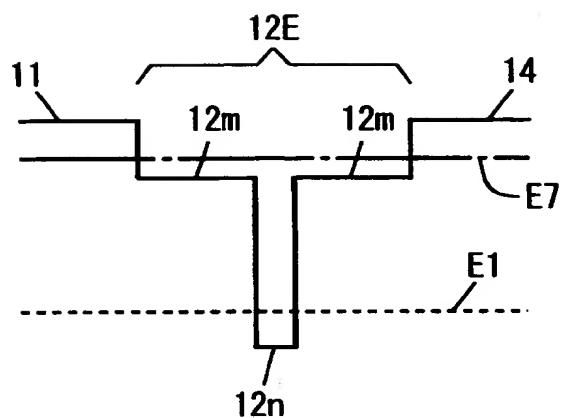
【図5】



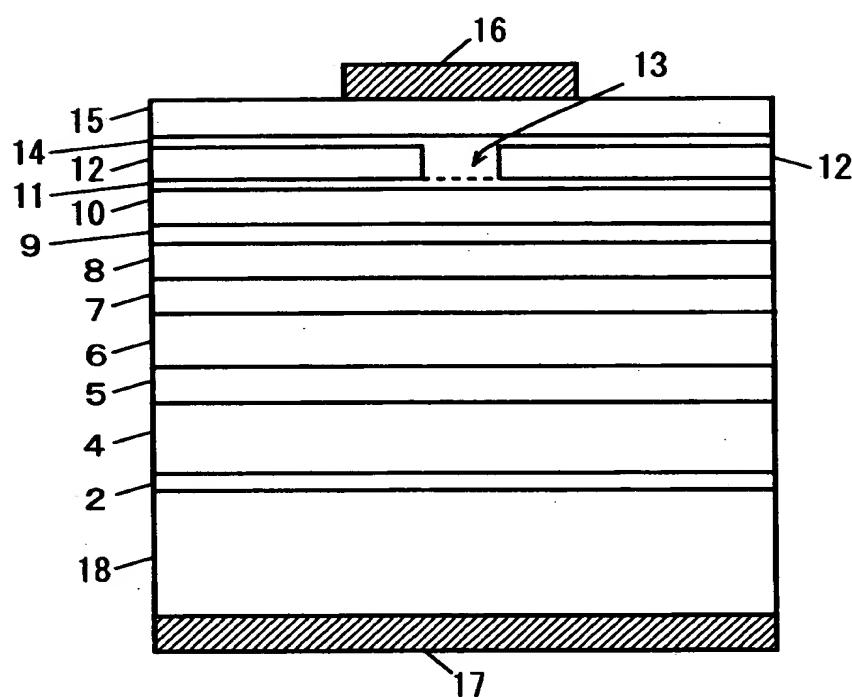
【図6】



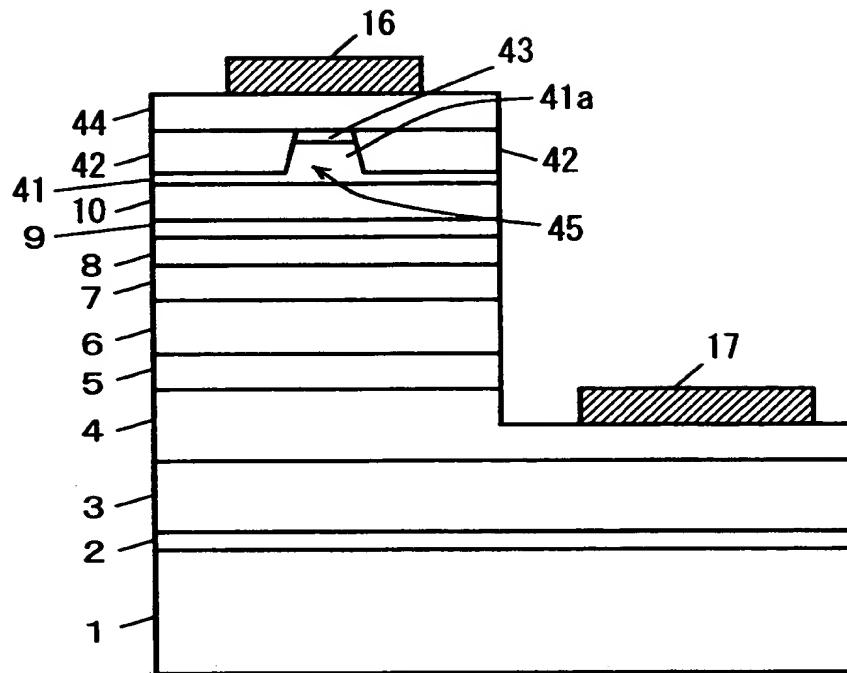
【図7】



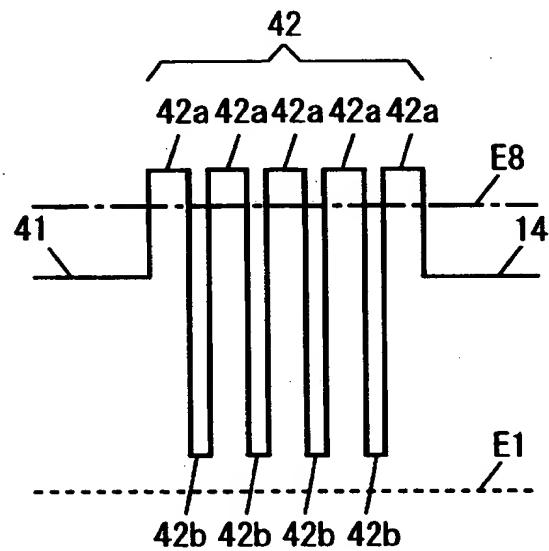
【図8】



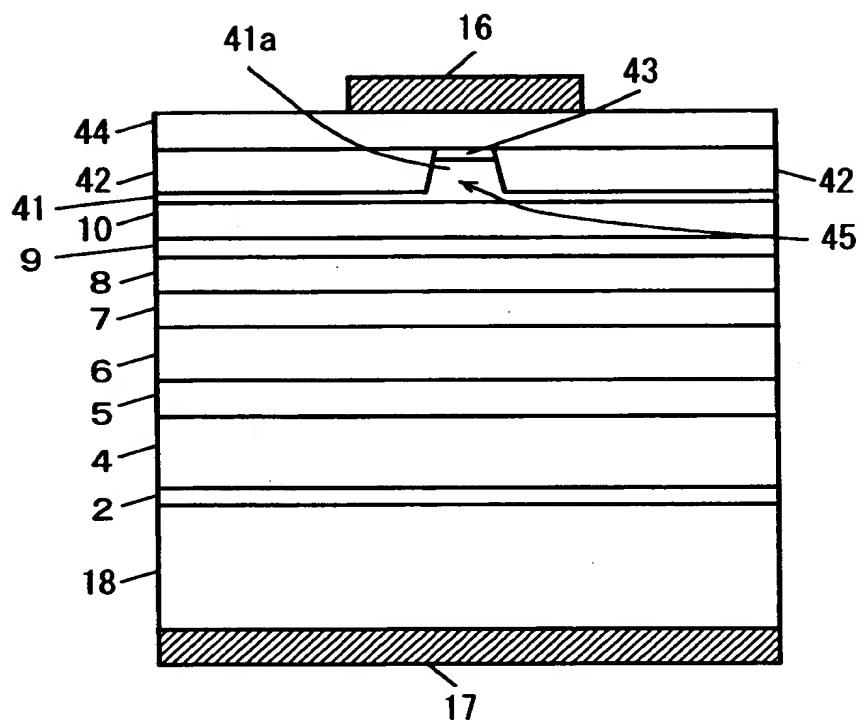
【図9】



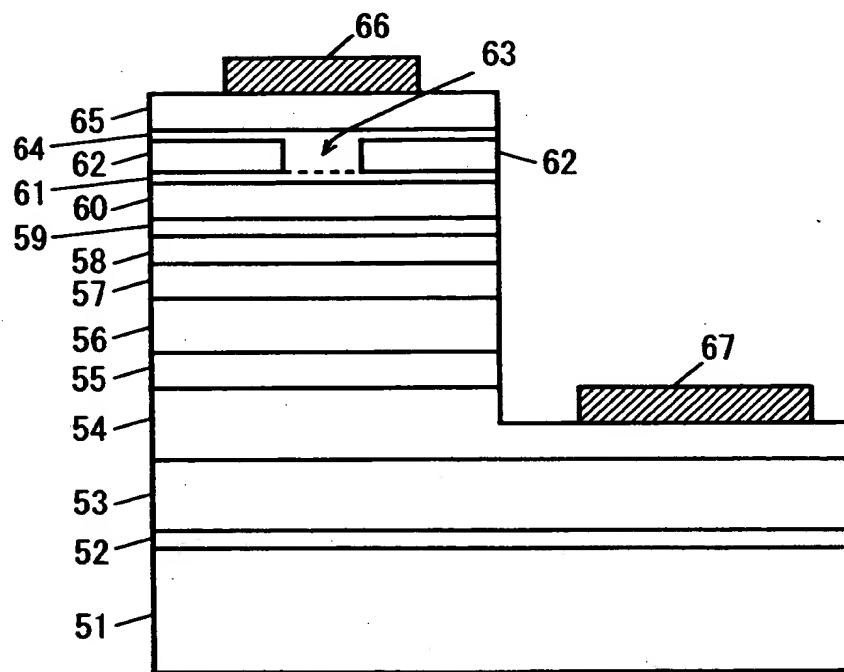
【図10】



【図11】



【図12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電流ブロック層の熱安定性を改善しつつ電流ブロック層にクラックが入りにくい半導体レーザ素子を提供することである。

【解決手段】 A1 または B を含む n- 第 1 電流ブロック層 12a と I n を含む n- 第 2 電流ブロック層 12b を交互に積層する。 n- 第 2 電流ブロック層 12b のバンドギャップを n- 第 1 電流ブロック層 12a よりも小さく設定する。

【選択図】 図 2

出願人履歴情報

識別番号 [000001889]

1. 変更年月日 1993年10月20日

[変更理由] 住所変更

住 所 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

氏 名 三洋電機株式会社